

ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ АЛИТИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ

Филимонов С.Ю., Тересов А.Д., Колубаева Ю.А.

Руководитель – доцент, д.ф.-м.н. Иванов Ю. Ф.

ИСЭ СО РАН, г. Томск

ZMAN3@ya.ru

Существует много способов поверхностной обработки, наряду с достоинствами каждый из них не лишен недостатков. Чтобы устранить эти недостатки в данной работе используется метод электронно-пучковой обработки.

Одним из перспективных способов обработки поверхности металлов и сплавов является метод электровзрывного легирования (ЭВЛ), в котором в качестве инструмента воздействия на поверхность выступают импульсные плазменные струи, формируемые при разряде емкостных накопителей энергии через проводники. Рабочее вещество ускорителя плазмы служит как для нагрева поверхностных слоев материала, так и для их легирования [1, 2]. Представленные в [3, 4] факты указывают на кратное повышение микротвердости, износо- и жаростойкости, некоторых других эксплуатационных свойств широкой номенклатуры деталей машин, конструкций и инструментов, подвергнутых ЭВЛ. При формировании струи ее фронт образует плазменный компонент, конденсированные же частицы, обладая большей инертностью, располагаются в тылу струи. Это приводит не только к поверхностному легированию, но и к формированию покрытия, являющегося, как правило, высокопористым, содержащим большое количество капельной фракции, микрократеров и микротрещин, что существенно снижает служебные характеристики обработанной детали. Покрытие, как правило, удаляется путем механической обработки детали, что приводит к утрате (до 50 %) дорогостоящих легирующих элементов и, соответственно, удорожанию процесса ЭВЛ. Для устранения данных негативных последствий в настоящей работе проводилось облучение поверхности электровзрывной обработки электронными пучками субмиллисекундной длительности в режиме многоимпульсного воздействия (далее по тексту – комплексная обработка).

Целью работы являлся анализ эволюции структуры и механических свойств, выявление механизмов упрочнения поверхностного слоя углеродистой стали, подвергнутой комплексной обработке.

В стали Ст.45 путем термической обработки была сформирована феррито-перлитная структура. Электровзрывное легирование (ЭВЛ) осуществляли путем электрического взрыва алюминиевых фольг толщиной ~20 мкм. Время ЭВЛ 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи 4,5 ГВт/м²,

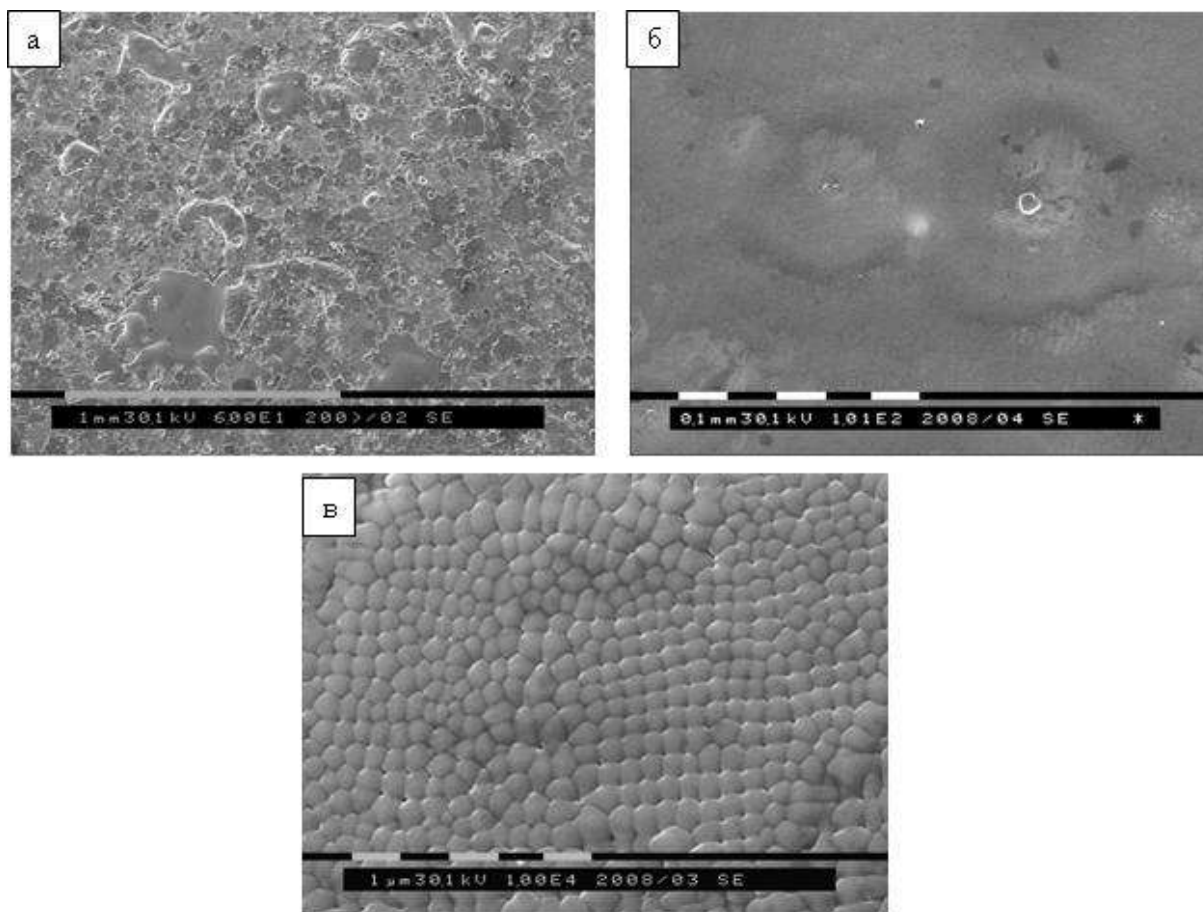


Рис. 1. Структура поверхности стали Ст.45 после электровзрывного легирования алюминием (а) и последующей электронно-пучковой обработки (20 Дж/см^2 ; 50 мкс; 0,3 Гц) при 10 (б, в).

давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности $11,2 \text{ МПа}$. Толщина зоны воздействия в ее центральной области $\sim 25 \text{ мкм}$ [4]. Электронно-пучковую обработку поверхности легирования осуществляли на лабораторной установке «Solo». [5] Были использованы следующие основные параметры облучения: плотность энергии пучка электронов $0,2 \text{ МДж/м}^2$; длительность импульса воздействия пучка 50 мкс; частота следования импульсов 0,3 Гц; число импульсов воздействия 2...200. Обработка осуществлялась в инертной (аргон) среде, при давлении $\sim 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Тор}$. Исследования структуры поверхности облучения, поверхности хрупких изломов, поверхности травленого шлифа («косой» шлиф, угол наклона поверхности шлифа к поверхности обработки $6...7$ градусов) модифицированных образцов проводили методами оптической и электронной сканирующей и просвечивающей дифракционной микроскопии. Распределение алюминия по толщине образца анализировали с помощью микроанализатора EDAX ECON IV, предельная точность определения концентрации: $\sim 5\%$, пространственное разрешения микроанализа: $1,0 \times 1,0 \times 3,0 - 5,0 \text{ мкм}$, установленном на сканирующем электронном микроскопе Philips SEM 515. Изменение механических свойств материала характеризовали микротвердостью, определяемой по методу Виккерса при нагрузке $0,98 \text{ Н}$ путем усреднения 80...100 отпечатков на одну точку (точность измерения $\sim 7\%$.)

Комплексная обработка приводит к плавлению поверхностного слоя и жидкофазному перемешиванию элементов покрытия и подложки. При оптимальном режиме работы электронного источника наблюдается формирование гладкой поверхности (рис. 1). Охлаждение материала сопровождается дендритной кристаллизацией, морфология и средние размеры элементов которой определяются режимом электронно-пучковой обработки (рис. 1, в).

Электровзрывное алитирование сопровождается насыщением стали алюминием и формированием поверхностного слоя, микротвердость которого существенно (в ~ 4 раза) превышает микротвердость сердцевины образца. Последующая электронно-пучковая обработка в оптимальном режиме облучения приводит к существенному увеличению толщины упрочненного слоя (до 40...45 мкм). Повышение прочностных характеристик поверхностного слоя стали, подвергнутой комбинированной обработке, обусловлено формированием структуры высокоскоростной закалки и выделение алюминидов железа.

Комплексная обработка поверхности стали при оптимальном режиме воздействия электронного пучка (20 Дж/см²; 50 мкс; 0,3 Гц; 10 имп.) приводит к незначительному снижению микротвердости поверхностного слоя по сравнению с микротвердостью поверхностного слоя стали после ЭВЛ. Одновременно с этим, комплексная обработка сопровождается существенным увеличением протяженности упрочненного слоя – толщина слоя, микротвердость которого превышает микротвердость исходной стали в $\sim 3,8$ раза, достигает 40...45 мкм.

Литература

1. Хасуи А., Мorigаки О. Наплавка и напыление. – М. Машиностроение, 1985. – 240 с.
2. Александров Л.Н. Кинетика образования и структуры твердых слоев. – М: Наука, 1972. – 228 с.
3. Будовских Е.А., Сарычев В.Д., Громов В.Е., Носарев П.С., Мартусевич Е.В. Основы технологии обработки поверхности материалов импульсной гетерогенной плазмой. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2002. – 170 с.
4. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.
5. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. // Известия ВУЗов. Физика. - 2008. - №5. - С. 60-70.